



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PARMA
Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione

Architetture e protocolli di comunicazione

Luca Veltri

(mail.to: luca.veltri@unipr.it)

Corso di Reti di Telecomunicazioni A, a.a. 2005/2006

<http://www.tlc.unipr.it/veltri>



Università degli Studi di Parma
Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione

Architetture protocolli

Indice

- Esempio di una comunicazione tra due terminali
- Funzioni in una comunicazione dati
- Architetture protocolli
 - stratificazione e raggruppamento
 - entità protocolli e unità informative (PDU)
 - interfacce tra strati (SAP) e primitive di servizio
- Nodi di rilegamento/commutazione/gateway
- Internetworking tra reti differenti
- Tunneling
- Modello OSI
- Architettura Internet

2



Università degli Studi di Parma
Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione

Architetture protocolli

Introduzione

- Le prime reti di TLC nascono completamente in HW
- All'aumentare della loro complessità tecnologica e delle funzioni implementate (principalmente SW), le reti divengono fortemente strutturate
 - si parla di architetture protocolli
 - comunicazione come serie di funzioni organizzate in strati (layers) o livelli
 - il numero degli strati e le loro funzioni varia da rete a rete
- Motivazioni per le architetture protocolli
 - riduzione della complessità di progettazione e gestione
 - facilità di riutilizzo di specifici protocolli o di intere (sotto)reti

3



Università degli Studi di Parma
Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione

Architetture protocolli

Funzioni e protocolli di comunicazione

- La comunicazione tra due o più parti richiede lo svolgimento una sequenza di funzioni, quali ad esempio:
 - indirizzamento dei terminali e/o degli applicativi
 - e.g. tramite URL: <http://www.tlc.unipr.it>, o indirizzo numerico
 - scambio di messaggi applicativi quali ad esempio di richieste di trasferimento, risposte, dati, etc.
 - e.g. GET index.html
 - controllo e recupero di errore
 - necessario per far fronte ad eventuali errori nel trasferimento del messaggio attraverso la rete
 - controllo di congestione della rete
 - gestione di eventuali situazioni di sovraccarico della rete
 - controllo di flusso
 - gestione di eventuali situazioni di sovraccarico del nodo di destinazione

4

Funzioni e protocolli di comunicazione (cont.)

elenco funzioni (cont.)

- controllo della sequenza dei messaggi e eventuale riordino
 - autenticazione delle parti
 - autenticazione e/o crittaggio dei dati
 - instradamento dei dati attraverso eventuali nodi intermedi
 - nel caso di rete strutturata (e.g. rete Internet)
 - inoltro dei dati attraverso ogni ramo (link)
- La realizzazione del collegamento tra un nodo terminale e un nodo intermedio o tra due nodi intermedi può a sua volta richiedere altre funzioni quali:
 - controllo e recupero di errore sul singolo link
 - controllo di flusso
 - instradamento attraverso eventuali nodi intermedi
 - gestione della mobilità (e.g. nel caso di link di accesso per terminali wireless)

5

Funzioni e protocolli di comunicazione (cont.)

elenco funzioni (cont.)

- delimitazione delle unità informative
 - gestione dell'accesso e della condivisione del mezzo
 - co(deco)difica, mo(demo)dulazione
 - trasmissione attraverso il mezzo fisico (fibra, rame, radio)
 - etc.
- Tali funzioni vengono in genere svolte in maniera collaborativa (interazione costante tra due o più parti) rispettando opportune regole procedurali → **protocolli di comunicazione**

6

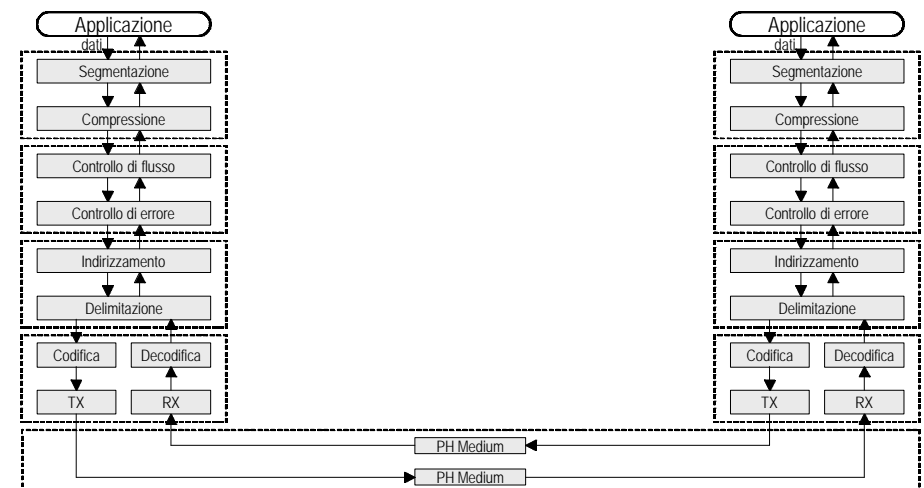
Architetture a strati

- Funzioni simili per logica e per tecnologia realizzativa sono raggruppate in sottoinsiemi funzionali omogenei
- Ogni sistema è visto come logicamente composto da una successione ordinata di sottosistemi (organizzati in "livelli")
- I sottoinsiemi operano in ordine gerarchico in modo che:
 - ciascuno di essi interagisca solo con i sottoinsiemi che gli sono gerarchicamente "adiacenti" (di ordine superiore o inferiore)
- Tutti i sottosistemi di uguale livello appartenenti a qualunque sistema tra quelli interconnessi (sottosistemi omologhi) formano uno strato
- L'insieme di funzioni di uno strato (di livello n) viene comunemente indicato con il termine "protocollo" (di strato n)

7

Funzioni, protocolli, architetture a strati

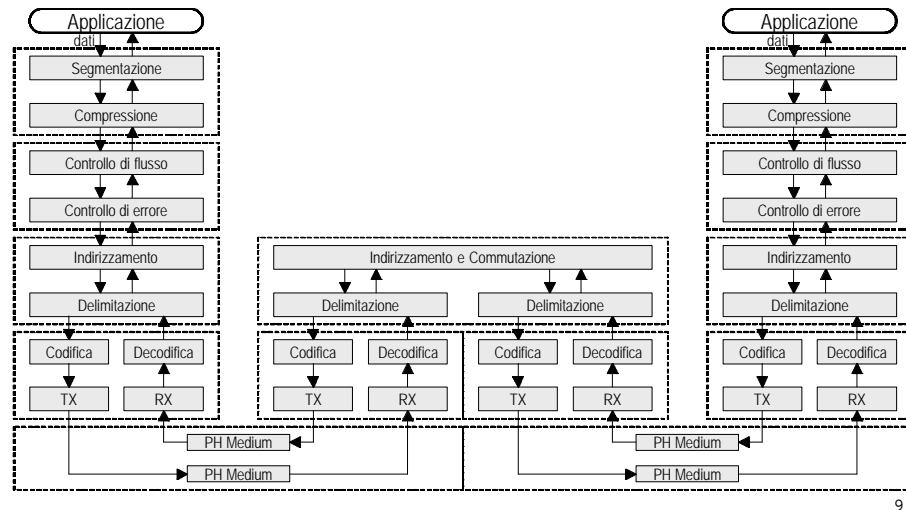
- Comunicazione diretta tra 2 terminali



8

Funzioni, protocolli, architetture a strati

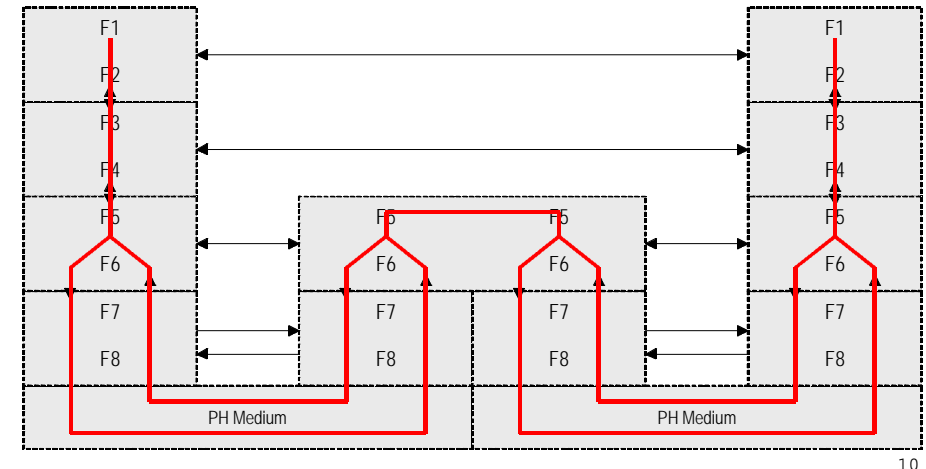
- Comunicazione tra 2 terminali con nodo intermedio



9

Funzioni, protocolli, architetture a strati

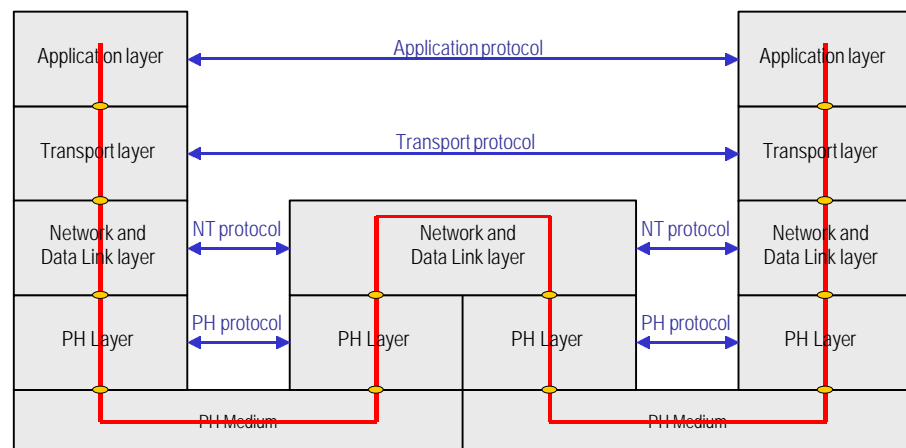
- Comunicazione tra 2 terminali con nodo intermedio



10

Funzioni, protocolli, architetture a strati

- Comunicazione tra 2 terminali con nodo intermedio



11

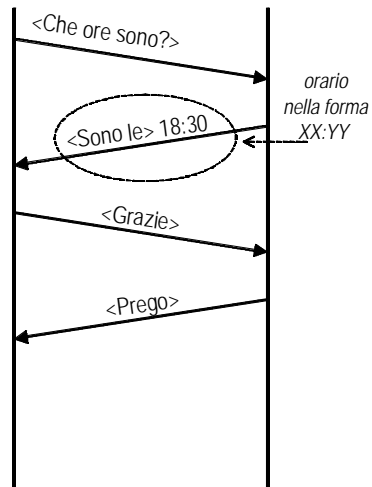
Protocolli di comunicazione

- In generale un protocollo di comunicazione è un accordo tra le parti interessate su come la comunicazione può o deve procedere
 - **regole della comunicazione**
- Un protocollo include un insieme di funzioni e le rispettive regole procedurali
 - **evoluzione della comunicazione**
 - **semantica dei messaggi**
 - **sintassi dei messaggi**
 - **algoritmi usati**
 - **parametri**
 - **timeout**
 - **etc**

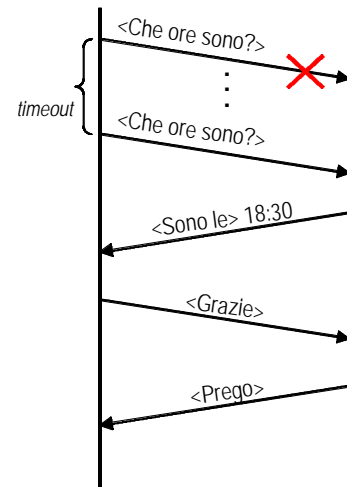
12

Esempio di protocollo di comunicazione

Evoluzione temporale in assenza di errori



Evoluzione temporale in presenza di errori

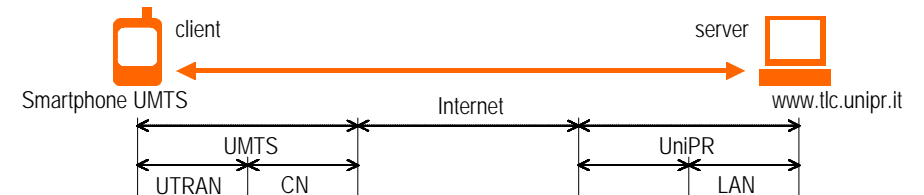


13

Esempio di comunicazione tra 2 terminali

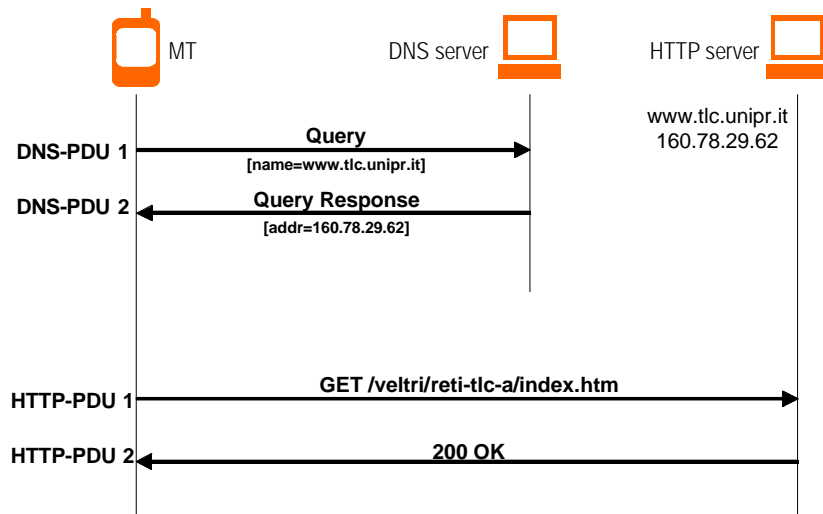
● Esempio

- **Servizio:** trasferimento e visualizzazione da parte di un "client" di una pagina web disponibile su "server" remoto (e.g. <http://www.tlc.unipr.it/veltri/reti-tlc-a/index.html>)
- **Applicazioni:** Browser (lato client) e Server Web (lato server)
- **Terminali:** Smartphone UMTS (lato client), Workstation (lato server)



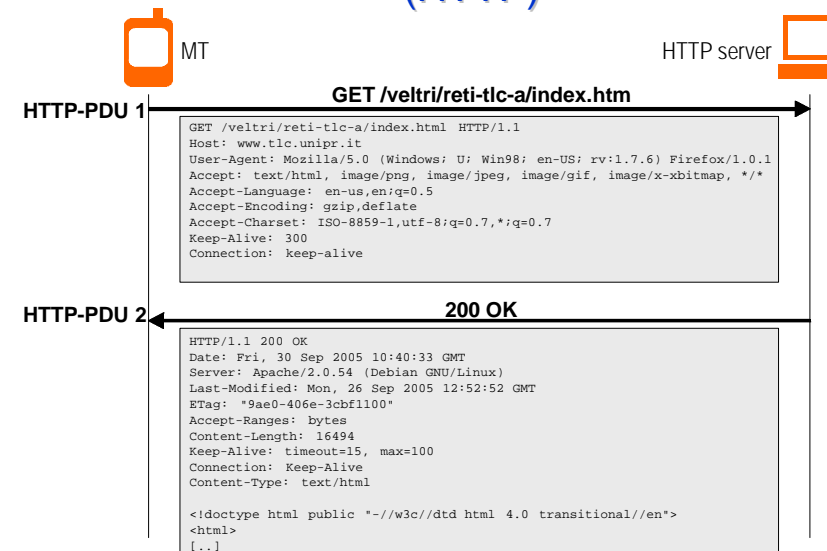
14

Esempio di comunicaz. - livello "applicativo"



15

Esempio di comunicaz. - livello "applicativo" (HTTP)



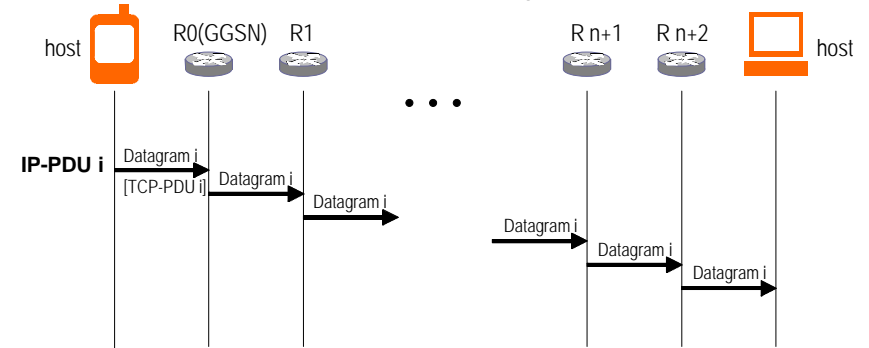
16

Esempio di comunicaz. - livello di "trasporto" (TCP)



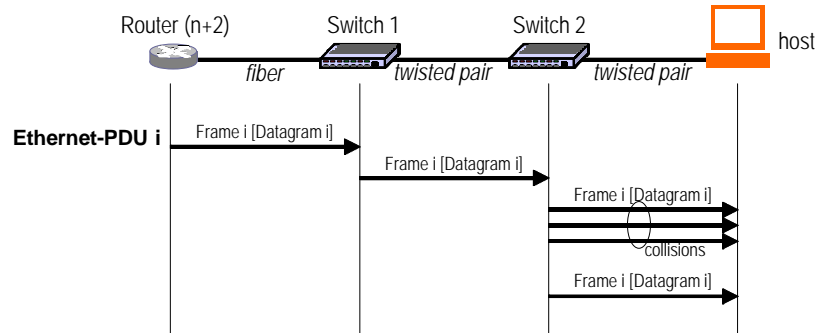
17

Esempio di comunicaz. - livello IP (per ogni TCP-PDU)



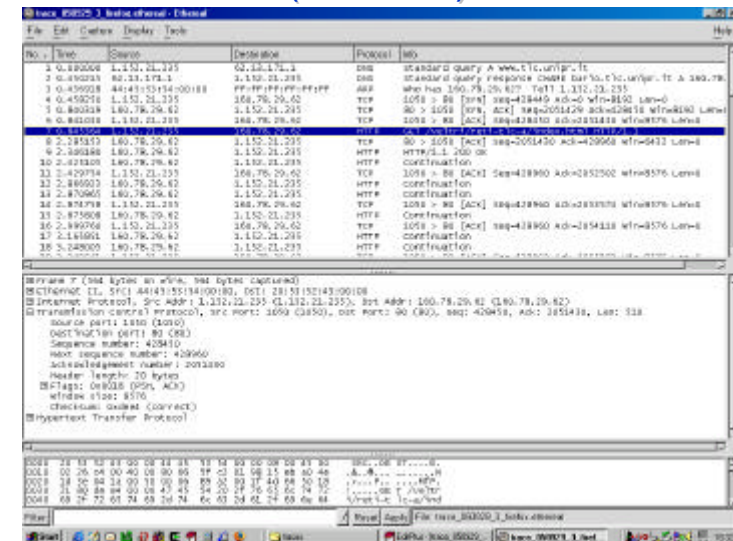
18

Esempio di comunicaz. - livello di Data link (solo ultimo ramo IP)



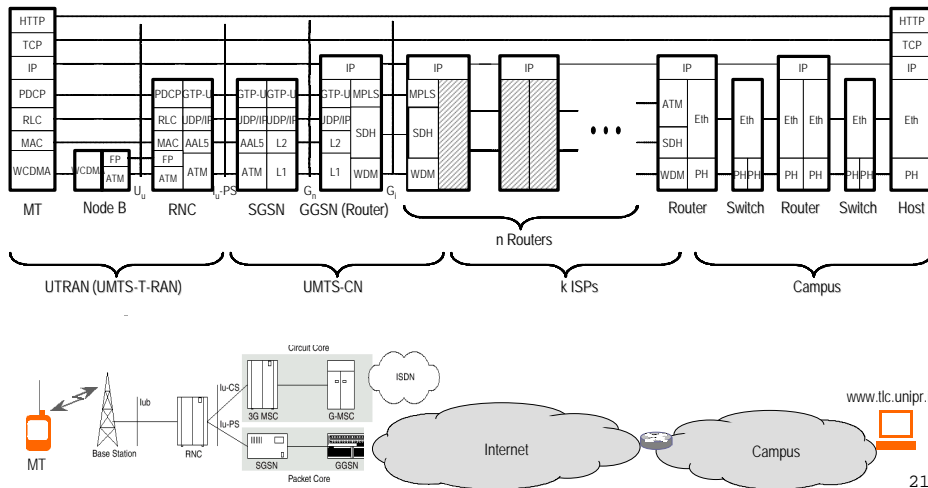
19

Esempio di comunicaz. - Protocol Analyzer (Ethereal)



20

Esempio di comunicaz. - Architettura protocollare (semplificata)



21

Protocolli utilizzati nell'esempio

- Alcuni protocolli incontrati nell'esempio:
 - DNS (Domain Name System)
 - HTTP (Hypertext Transfer Protocol)
 - TCP (Transmission Control Protocol)
 - UDP (User Datagram Protocol)
 - IP (Internet Protocol)
 - PDCP (Packet Data Convergence Protocol)
 - RLC (Radio Link Control), MAC (Medium Access Control)
 - GTP-U (GPRS Tunneling protocol - User)
 - WCDMA (Widband Code-Division Multiple Access)
 - ALL5 (ATM Adaptation Layer 5)
 - ATM (Asynchronous Transfer Mode)
 - MPLS (Multi-Protocol Label Switching)
 - SDH (Synchronous Digital Hierarchy)
 - Ethernet (IEEE 802.3)

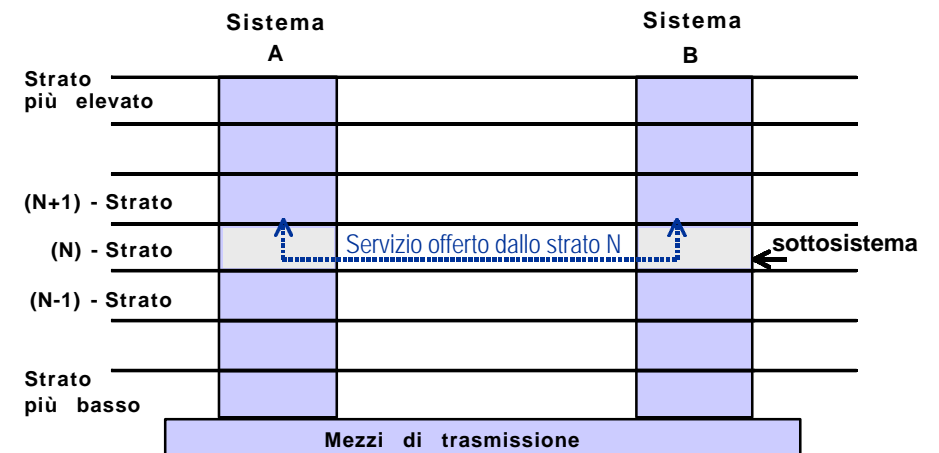
22

Architetture a strati

- Ogni strato o protocollo riceve un "servizio" dallo strato che gli è immediatamente inferiore nell'ordine gerarchico
- arricchisce questo "servizio" con il valore derivante dallo svolgimento delle proprie funzioni
- offre il nuovo "servizio" a valore aggiunto allo strato/protocollo che gli è immediatamente superiore nell'ordine gerarchico

23

Architetture a strati



24

Indipendenza funzionale degli strati

- Il “servizio” fornito da un generico strato può essere definito in modo del tutto indipendente dalle procedure con cui è effettivamente realizzato
- Per ognuno dei sistemi interconnessi, l'architettura considera solo gli aspetti che riguardano il comportamento verso l'esterno e cioè quelli volti alla cooperazione con altri sistemi

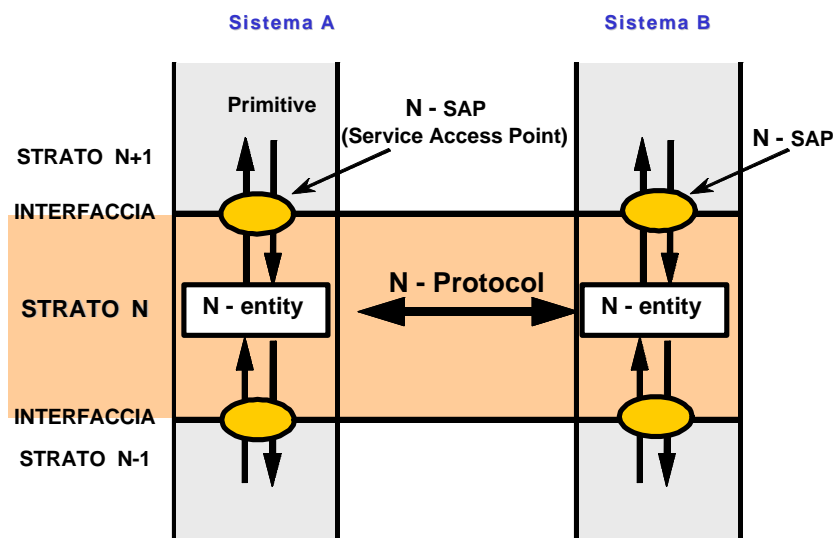
25

Vantaggi delle architetture a strati

- L'applicazione del principio della stratificazione consente
 - di **sezionare il complesso problema della comunicazione in un insieme di problemi più semplici, ognuno dei quali si riferisce ad un particolare sottoinsieme funzionale**
 - di **riutilizzare i singoli sottosistemi funzionali in sistemi (e architetture) differenti**

26

Modello funzionale del generico strato N



27

Elementi dell' (N)-strato (1/3)

- (N)-entità:
 - è la parte dell' (N)-sottosistema che provvede a svolgere una o più tra le funzioni dell'(N)-strato
 - se appartenenti a sistemi diversi (entità alla pari), interagiscono tra loro per l'espletamento delle funzioni loro pertinenti
 - le entità possono essere sia SW che HW
- (N)-utenti:
 - sono le (N+1)-entità alla pari che usufruiscono dell'(N)-servizio per i loro scopi di cooperazione
- (N)-servizio:
 - è il particolare sottoinsieme delle funzioni che sono svolte dall'(N)-strato e che sono visibili dall'(N)-interfaccia
- (N)-fornitore:
 - è l'insieme delle (N)-entità alla pari che cooperano per la fornitura dell'(N)-servizio
 - Nell'ambito di ogni sistema, l'(N)-utente e l'(N)-fornitore interagiscono attraverso l'(N)-SAP

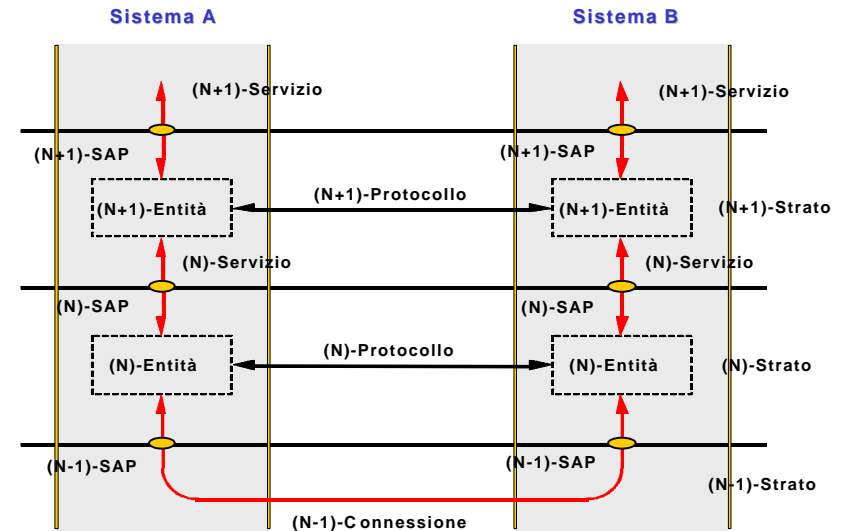
28

Elementi dell' (N)-strato (2/3)

- (N)-SAP (Service Access Point):
 - è l'interfaccia logica tra una (N)-entità e una (N+1)-entità; appartiene quindi alla (N)-interfaccia
 - Può essere servito da una sola (N)-entità ed essere utilizzato da una sola (N+1)-entità
 - Tuttavia una (N)-entità può servire vari (N)-SAP ed una (N+1)-entità può utilizzare vari (N)-SAP
- (N)-funzioni:
 - possono comporre l' (N)-servizio ovvero possono essere svolte senza richiedere specifiche dello strato superiore
- (N)-protocollo:
 - insieme di regole che governano la cooperazione tra (N)-entità alla pari (stesso strato)
 - spesso con il termine protocollo viene indicato l'intero strato, ovvero le entità funzionali visibili dagli strati adiacenti
- (N)-indirizzo:
 - è associato ad ogni (N)-SAP e localizza l'(N+1)-entità allacciata a questo

29

Elementi dell' (N)-strato (3/3)



30

SAP (Service Access Point)

- Sono il punto di accesso di un servizio di strato
 - N-SAP è il punto dove lo strato N+1 può accedere al servizio offerto dallo strato N
 - Semplificano le interazioni tra funzioni di strati adiacenti
- Ogni SAP ha uno indirizzo che lo identifica in modo univoco
- Lo stesso indirizzo viene usato per indirizzare l'entità di strato N+1 associata al N-SAP
- Esempio di SAP:
 - presa di rete telefonica e relativo numero di telefono
 - cassetta delle poste e relativo indirizzo (nazione, città, via, numero civico, interno)
 - API di programmazione utilizzata da una specifica applicazione per accedere al servizio di strato TCP (o UDP), e identificata dalla terna composta da indirizzo IP, protocollo di trasporto, numero di porta ("socket")

31

Flussi informativi

- Una entità è impegnata nella gestione di due flussi informativi
 - 1) con entità appartenenti agli strati adiacenti
 - 2) con entità alla pari
- Nel primo caso il trasferimento è diretto (effettivo)
 - le UI vengono fisicamente passate da uno strato ad un altro all'interno dello stesso sistema, attraverso i SAP
- Nel secondo caso il trasferimento è indiretto usando il servizio offerto dallo strato inferiore (con o senza connessione)
 - le UI vengono scambiate tra sistemi diversi tra entità alla pari nel rispetto del protocollo di strato

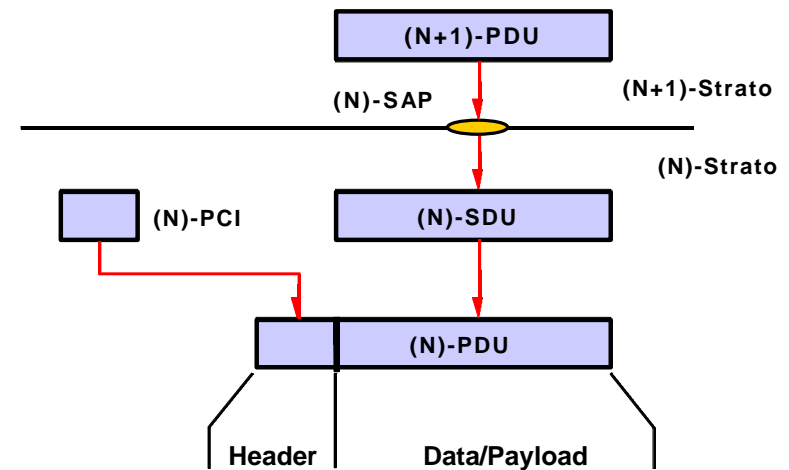
32

Unità Informative

- Informazioni di dati:
 - sono l'oggetto primario dello scambio per le finalità del processo di comunicazione
- Informazioni di controllo:
 - hanno scopo di coordinamento delle azioni da svolgere a cura delle entità secondo gli obiettivi architetturali
- Le informazioni di dati o di controllo scambiate in un processo di comunicazione sono strutturate in unità
- Tali UI sono specifiche per ogni strato/protocollo

33

Unità Informative



34

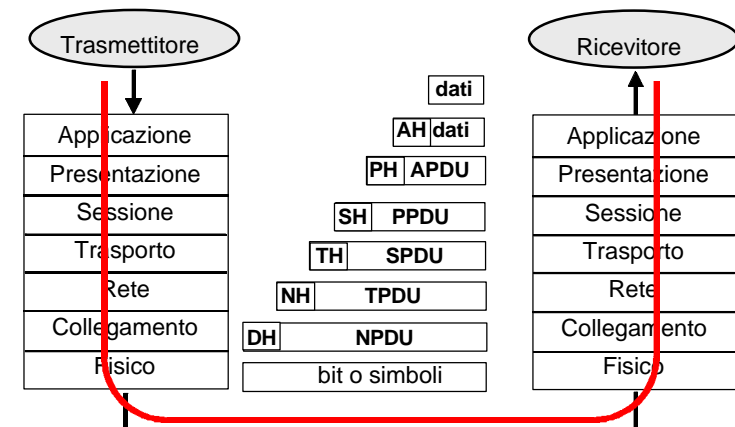
Unità Informative

Con riferimento all'(N)-strato si hanno

- (N)-PCI, Protocol Control Information (Informazioni di protocollo)
 - sono le informazioni di controllo scambiate tra entità alla pari e corrispondenti alle regole di interazione previste nel pertinente protocollo di strato
- (N)-PDU, (N)-Protocol Data Unit (genericamente "pacchetto"):
 - consentono all'(N)-entità, nello svolgimento dell'(N)-servizio, di trasferire una (N)-PCI e, possibilmente, dati di (N)-utente
- L'unità di dati di servizio (SDU, Service Data Unit):
 - è una porzione dei dati di interfaccia che l'entità di uno strato trasferisce a una entità dello strato inferiore nello stesso sistema affinché questa provveda a inoltrarla a destinazione nell'ambito del servizio di strato
- (N)-IDU, (N)-Interface Data Unit:
 - riguardano le informazioni trasmesse attraverso un (N)-SAP
 - è la somma di una SDU e di informazione di controllo di interfaccia (ICI)
 - ICI è informazione di controllo passata nel SAP, ma che non è inviata con le PDU; e.g. il numero di byte passati, o il tipo di servizio richiesto

35

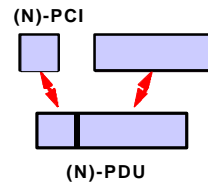
Esempio di relazioni tra UI in strati adiacenti



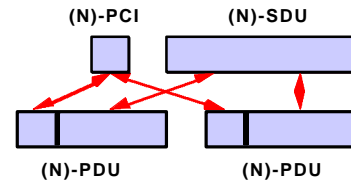
36

Segmentazione e aggregazione di UI

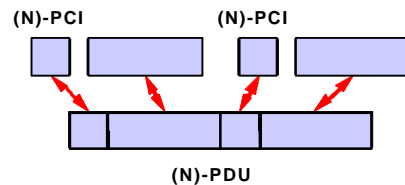
Corrispondenza uno a uno tra (N)-SDU e (N)-PDU



Funzioni di segmentazione e ricostruzione

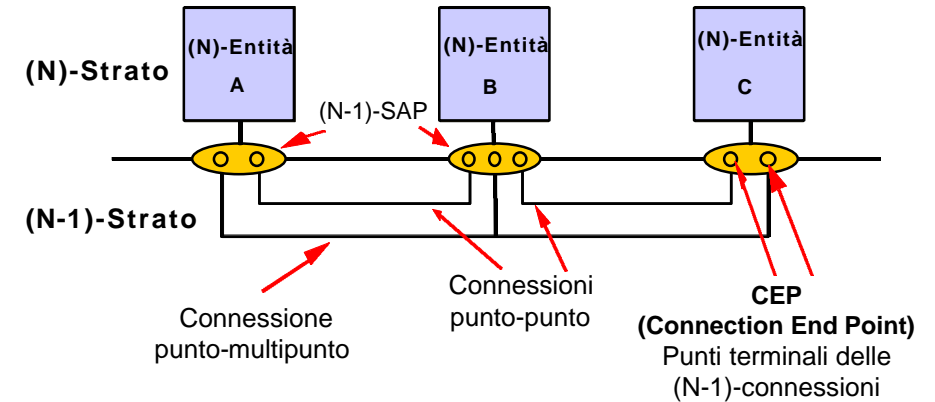


Funzioni di aggregazione e di disaggregazione



37

Connessioni di strato



38

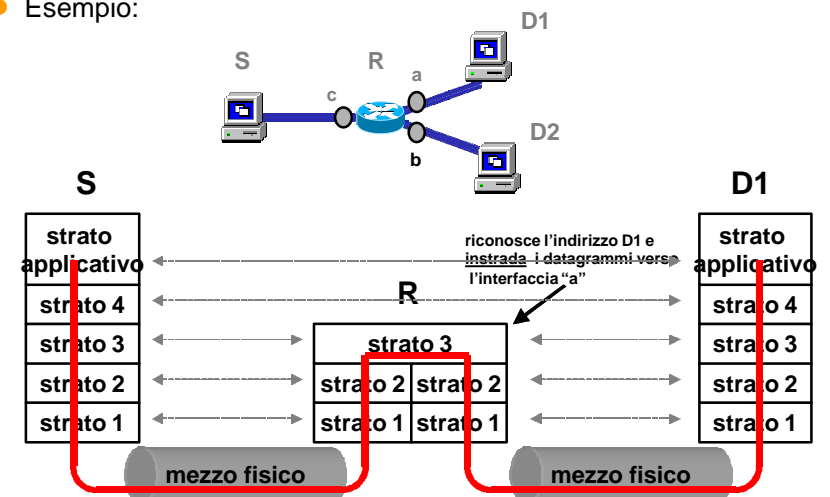
Sistemi interconnessi

- Sistema terminale (End System): è origine o destinazione finale delle informazioni
- Sistema di rilegamento (Relay System): sistema intermedio che provvede al rilancio dell'informazione relativa alla comunicazione tra 2 o più End Systems
- In un Architettura protocollare potenzialmente si può effettuare "relay" a differenti livelli (strati)
- In un Relay System, lo strato di relay è lo strato più elevato che elabora le UI e che effettua il rilancio delle stesse (nel caso generale implementa funzionalità di commutazione)

39

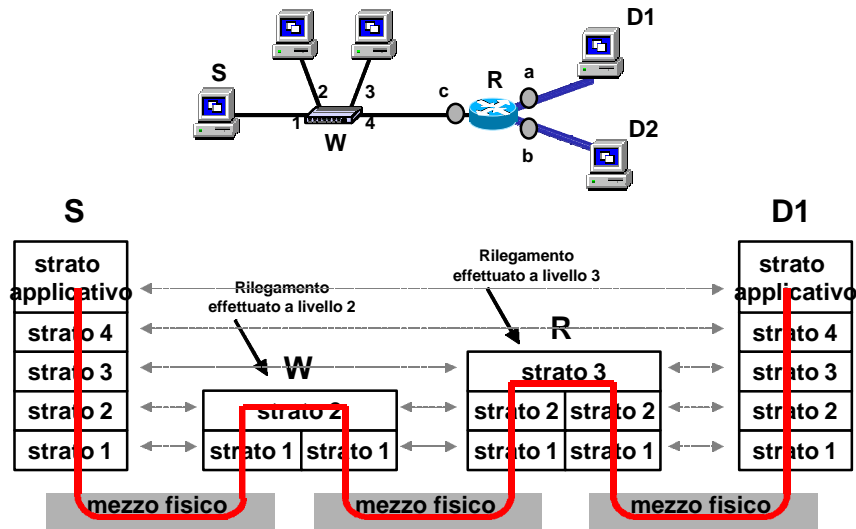
Esempio 1: di architettura con 1 Relay System

- Esempio:



40

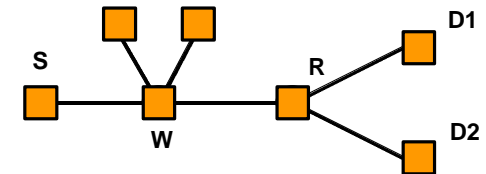
Esempio 2: architettura con 2 Relay Systems



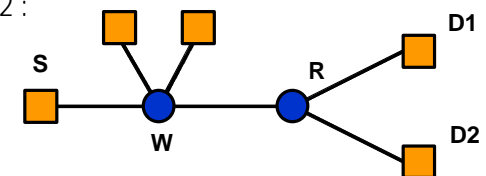
41

Esempio 2: Topologie livello 1 e 2

Topologia di strato 1 :



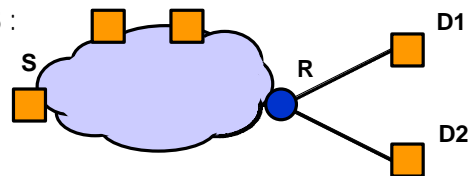
Topologia logica di strato 2 :



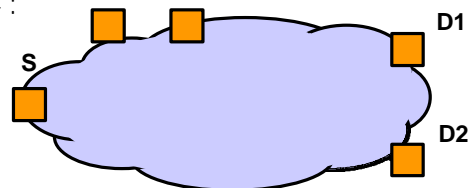
42

Esempio 2: Topologie livello 1 e 2

Topologia logica di strato 3 :



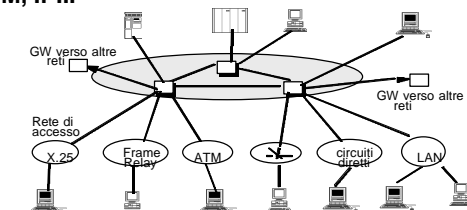
Topologia logica di strato 4 :



43

Internetworking (1/3)

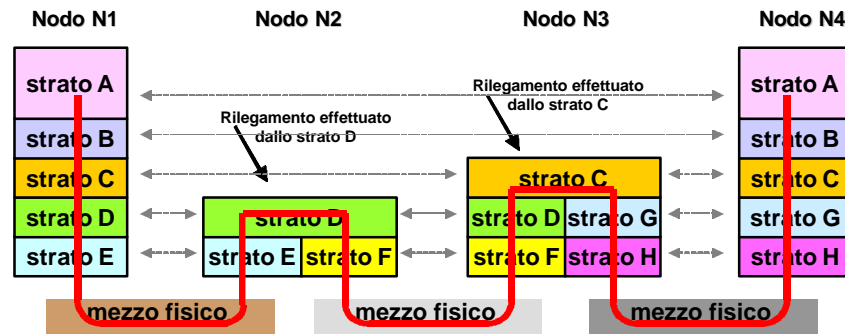
- In una architettura di rete “omogenea” è presente una sola successione ordinata di strati/protocolli nei vari nodi (stack protocollare)
- Le reti reali di solito sono una composizione di sottoreti con architetture protocollari differenti
 - LAN, MAN, WAN
 - e tanti protocolli per i differenti strati: IEEE 802.3, LLC, X.25, Frame Relay, SDH, ATM, IP...



- Questo comporta delle architetture di rete molto eterogenee

44

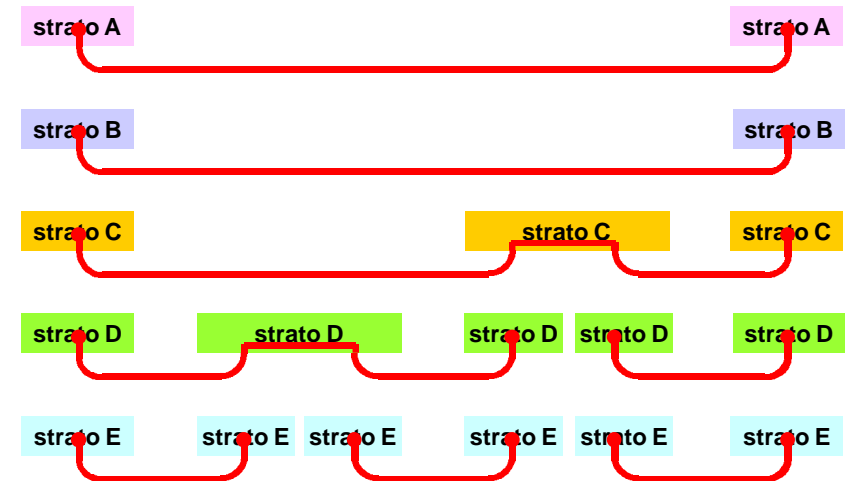
Internetworking (2/3)



- i nodi N1 e N4 sono nodi terminali della comunicazione di strato A
- i nodi N1 e N3 sono nodi terminali della comunicazione di strato D
- i nodi N1 e N2 sono nodi terminali della comunicazione di strato E
- etc..
- **Nota:** tutto ciò vale anche nel caso in cui il protocollo E=F, D=G, F=H, etc

45

Topologie a differenti livelli



46

Internetworking (3/3)

- In generale i nodi che effettuano rilegamento tra due reti (anche differenti) vengono chiamati "Gateway"
- A seconda dello strato in cui effettuano rilegamento vengono chiamati rispettivamente:
 - **Repeater, Hub**
 - se effettuano rilegamento allo strato PH (fisico)
 - si limitano a rigenerare le unità di base (bits o bytes)
 - **Bridge, Switch**
 - se effettuano rilegamento a livello di DL (strato di collegamento)
 - **Router**
 - se effettuano rilegamento a livello di strato NT (rete)
 - **Gateway**
 - di strato di Trasporto
 - di strato Applicativo

47

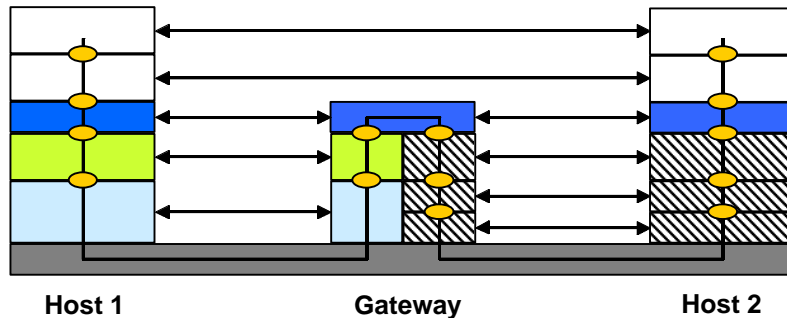
Interlavoro tra 2 reti

- Comunicazione attraverso l'unione di due reti differenti (con tecnologie/protocolli diversi): due possibili approcci
 - **Strato di internetworking**
 - **Traduzione di protocolli**

48

Interlavoro tra 2 reti: Internetworking

- Incapsulamento - Strato di internetworking
 - sorgente e destinazione usano lo stesso protocollo utilizzato come livello più alto dal nodo intermedio che fa rilegamento
 - in questo modo lo strato che di internetworking crea una rete "omogenea" (nel caso di Internet questo è lo strato IP)



49

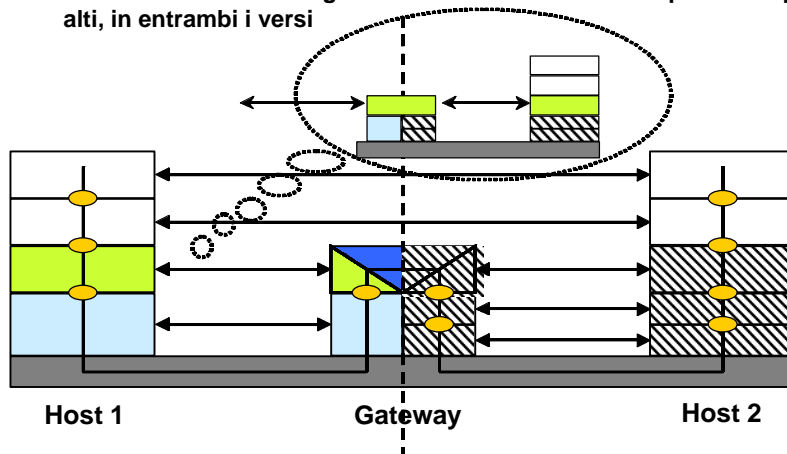
Strato di internetworking: vantaggi e svantaggi

- Sebbene siano semplificati, si devono risolvere i seguenti problemi:
 - MTU, frammentazione, aggregazione
 - indirizzamento
 - protocolli/reti CO e CL
 - gestione del flow control e congestion control end-to-end
 - multicast
- IP è un buon esempio di protocollo adatto all'internetworking

50

Interlavoro tra 2 reti: Traduzione di protocolli

- Traduzione di protocolli (Protocol translator) - Gateway based interworking
 - il nodo che effettua rilegamento traduce tra loro i due protocolli più alti, in entrambi i versi



51

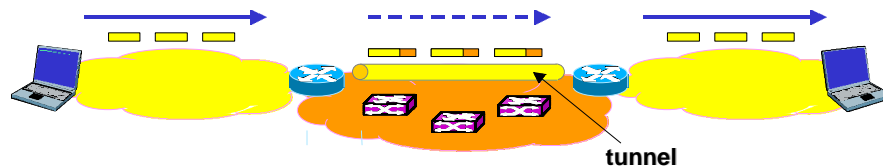
Traduzione di protocolli: vantaggi e svantaggi

- Questo approccio può funzionare "bene" solo quando le due reti sono "simili" (stesse caratteristiche negli strati/protocollo che interlavorano), ad esempio, se entrambi:
 - sono Connection Oriented (o Connection Less)
 - se offrono un servizio affidabile (oppure no)
 - se implementano controllo di flusso, di congestione... (oppure no)
 - se hanno unità dati di dimensione compatibile (esempio, variabile con stessa MTU)
- Maggiori problemi per:
 - traslazione dei formati dei pacchetti
 - dimensione dei pacchetti, frammentazione, aggregazione
 - indirizzamento
 - protocolli di routing (in due momenti diversi a seconda se CO o CL)
 - piano di controllo, Setup/CAC
 - QoS
 - multicast

52

Tunneling (1/2)

- Il termine "tunneling" indica genericamente l'istradamento attraverso una rete/protocollo X di pacchetti di un protocollo Y tramite imbustamento degli Y-pacchetti dentro gli X-pacchetti, tra due nodi N1 e N2 estremi della rete X



- Il traffico di Y viene veicolato in X emulando una connessione punto-punto tra i due nodi estremi N1 e N2 ("tunnel")

53

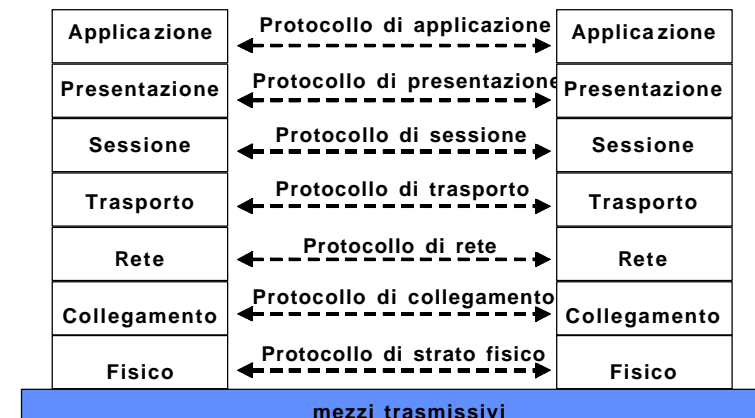
Tunneling (2/2)

- Sebbene rappresenti semplicemente l'incapsulamento di un protocollo dentro un altro, il termine "tunneling" si usa più propriamente in quelle situazioni in cui
 - attraverso il protocollo utilizzato per l'incapsulamento viene fissata (configurata) una relazione tra due nodi (i nodi estremi del tunnel) in modo che tutti i pacchetti consegnati al nodo di ingresso vengano inviati (incapsulati) al nodo di uscita
 - nel caso di protocolli CO, questo viene realizzato tramite un "circuit virtuale"
 - e nei casi in cui la sovrapposizione dei due protocolli non è "consueta"
 - per esempio quando si incapsula un protocollo dentro se stesso, o un protocollo di livello normalmente inferiore dentro un protocollo di livello superiore
 - e.g. IP over IP, PPP over TCP, etc.
- Tra i vantaggi del tunneling:
 - Possibilità di impiego di protocolli di rete del tutto incompatibili con l'infrastruttura portante
 - Creazione di VPN
 - Possibilità di attuare politiche di "differentiated services"

54

Architettura del modello OSI

I sette livelli dell'OSI

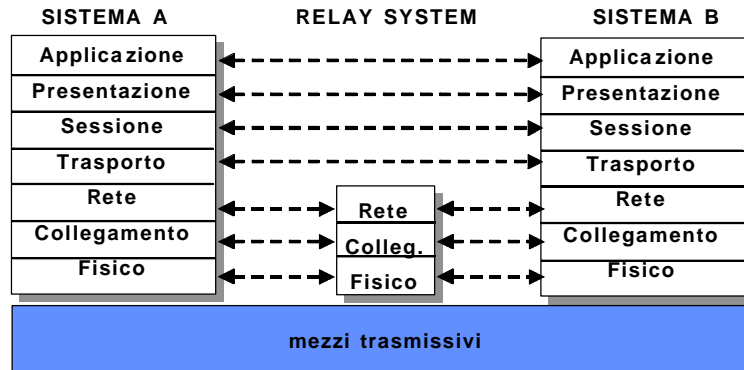


56

Modello OSI e modello Internet

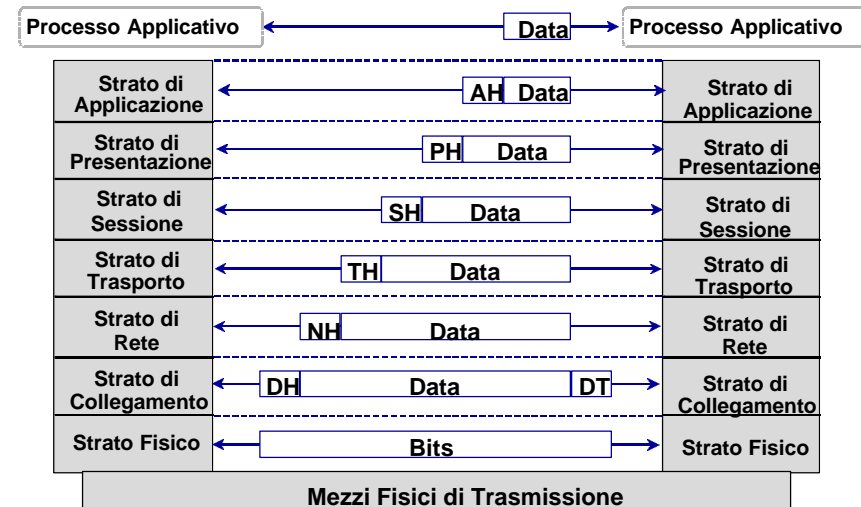
Architettura del modello OSI

- sistemi terminali
- sistemi di rilegamento (relay)



57

Relazioni tra unità di dati in strati adiacenti



58

Livello 1 - Fisico (PH)

- fornisce i mezzi meccanici, fisici, funzionali e procedurali per attivare, mantenere e disattivare le connessioni fisiche
- ha il compito di effettuare il trasferimento delle cifre binarie scambiate dalle entità di livello di collegamento
- le unità dati sono bit o simboli
- funzioni principali:
 - conversioni D/A e A/D
 - adattamento dei segnali elettrici (o ottici)
 - trasmissione/ricezione
 - adattamento meccanico e connettori
 - specifica dei mezzi trasmissivi

59

Livello 2 - Collegamento (Data Link, DL)

- fornisce i mezzi funzionali e procedurali per il trasferimento delle unità dati tra entità di livello rete e per fronteggiare malfunzionamenti del livello fisico
- funzioni principali:
 - delimitazione delle UI
 - rivelazione e recupero degli errori di trasmissione
 - controllo di flusso

60

Livello 3 - Rete (Network)

- fornisce i mezzi per instaurare, mantenere e abbattere le connessioni di rete tra entità di livello trasporto
- fornisce i mezzi funzionali e procedurali per lo scambio di informazioni tra entità di livello trasporto
- funzioni principali:
 - **indirizzamento dei terminali e instradamento**
 - **controllo di flusso**

61

Livello 4 - Trasporto (T)

- fornisce alle entità di livello sessione le connessioni di livello trasporto
- colma le deficienze della qualità di servizio delle connessioni di livello rete
- ottimizza il servizio di livello rete
- è il livello più basso con significato da estremo a estremo
- funzioni principali:
 - **multiplazione e suddivisione di connessioni**
 - **frammentazione di messaggi in pacchetti**
 - **controllo di flusso e di congestione**

62

Livello 5 - Sessione

- assicura alle entità di presentazione una connessione di sessione organizza il colloquio tra le entità di presentazione
- struttura e sincronizza lo scambio di dati in modo da poterlo sospendere, riprendere e terminare ordinatamente
- maschera le interruzioni del servizio trasporto
- funzioni principali:
 - **gestione del dialogo e sincronizzazione**

63

Livello 6 - Presentazione

- risolve i problemi di compatibilità per quanto riguarda la rappresentazione dei dati da trasferire
- risolve i problemi relativi alla trasformazione della sintassi dei dati
- può fornire servizi di cifratura delle informazioni
- funzioni principali:
 - **codec**
 - **crittografia**
 - **compressione**

64

Livello 7 - Applicazione

- fornisce ai processi applicativi i mezzi per accedere all'ambiente OSI
- esempi di servizio
 - trasferimento di file
 - terminale virtuale (VT)
 - posta elettronica (X.400)
 - ...

65

Architetture OSI e Internet

Modello OSI	Modello INTERNET
Applicazione	Applicativo RTP, SSL, etc
Presentazione	
Sessione	
Trasporto	TCP, UDP
Rete	IP
Collegamento	Sottorete
Fisico	

66

Strati del modello Internet

- Il modello Internet storicamente prevede quattro strati funzionali, in un ordine gerarchico decrescente
 - lo strato Applicativo (Application Layer)
 - lo strato di Trasporto da Estremo a Estremo (Host-to-Host Layer)
 - lo strato Internet (Internet Layer)
 - lo strato di Accesso in Rete (Network Access Layer)

67

Funzionalità degli strati Internet (1/2)

- Strato di Accesso in Rete (Strato di sottorete)
 - include le funzioni che, nel modello OSI, sono comprese negli strati fisico, di collegamento e di rete, quest'ultimo almeno per ciò che riguarda gli aspetti connessi al funzionamento di ogni singola sottorete componente (sottostrato di rete basso)
 - il servizio offerto allo strato superiore (strato IP) può essere con o senza connessione
- Strato Internet (IP, Internet Protocol)
 - consente l'interconnessione delle varie sottoreti componenti con funzionalità che nel modello OSI sono collocate nello strato di rete
 - fornisce un servizio di strato senza connessione

68

Funzionalità degli strati Internet (2/2)

- Strato di trasporto
 - **corrisponde allo strato di trasporto OSI e a parte dello strato di sessione**
 - **offre due tipi di servizio:**
 - un servizio di trasporto affidabile con connessione (TCP, Transmission Control Protocol)
 - un servizio più semplice, senza connessione (UDP, User Datagram Protocol)
- Strato applicativo
 - **corrisponde a parte dello strato di sessione e agli strati di presentazione e di applicazione del modello OSI**
- Sebbene non venga spesso considerato come tale, può essere presente anche uno strato di sessione/presentazione
 - **supporto applicativi real-time (RTP/RTCP)**
 - **sicurezza (TLS/SSL)**